



TITLE:

カオスニューラルネットワーク(基
研長期研究会「カオスとその周辺
,研究会報告)

AUTHOR(S):

豊田, 雅嗣; 合原, 一幸; 清水, 和彦; 小谷, 誠

CITATION:

豊田, 雅嗣 ...[et al]. カオスニューラルネットワーク(基研長期研究会「
カオスとその周辺」,研究会報告). 物性研究 1989, 51(6): 695-696

ISSUE DATE:

1989-03-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/93593>

RIGHT:

カオスニューラルネットワーク

東京電機大・工 豊田雅嗣, 合原一幸, 清水和彦, 小谷 誠

本研究は、生体のニューロンの非線形応答特性に関する従来の解析結果¹⁾に基づいて、カオスダイナミクスを有するカオスニューロンモデルをプロセッシングエレメントとするカオスニューラルネットワーク(Chaotic Neural Networks)の数学モデルを提案し、そのダイナミクスについて解析するものである。

我々は、Caianiello-Nagumo-Sato の離散時間モデル^{2,3)}を修正したカオスニューロンモデルを用いて、ネットワーク (m個の外部入力を持つ n 個のニューロンモデルが相互結合した一般的なネットワーク) を構成した。

今、i 番目のニューロン i を仮定すると、そのダイナミクスは次式で与えられる。

$$x_i(t+1) = f \left[\sum_{j=1}^m V_{ij} \sum_{r=0}^t k^r A_j(t-r) + \sum_{k=1}^n W_{ik} \sum_{r=0}^t k^r h \{x_k(t-r)\} - \alpha \sum_{r=0}^t k^r g \{x_i(t-r)\} - \theta_i \right] \quad (1)$$

ここで、各変数及び定数は、

$x_i(t)$: 時刻 t における神経膜の出力 (活動電位のピーク値に対応) ($0 \leq x(t) \leq 1$)

V_{ij} : 外部入力 $A_j(t)$ からニューロン i への結合の強さ

W_{ik} : ニューロン j からニューロン i への結合の強さ

$A_j(t)$: 時刻 t における入力刺激の大きさ

α : 定数パラメータ ($\alpha \geq 0$)

k : 不応性の時間的減衰定数 ($0 \leq k < 1$)

θ_i : しきい値

関数 f は神経細胞の内部状態 $y(t)$ と出力 $x(t)$ との関係を与える関数、関数 g は出力と、次の刺激に対する不応性との関係を与える関数である。さらに、ニューロン i の内部状態 $y_i(t+1)$ を定義すれば、上式を(2)~(4)式のように単純化することができる。

$$y_i(t+1) = k^r y_i(t) + \sum_{j=1}^n W_{ij} h[f\{y_j(t)\}] + a_i(t) - \alpha g[f\{y_i(t)\}] - \theta_i \quad (2)$$

$$x_i(t+1) = f\{y_i(t+1)\} \quad (3)$$

但し、

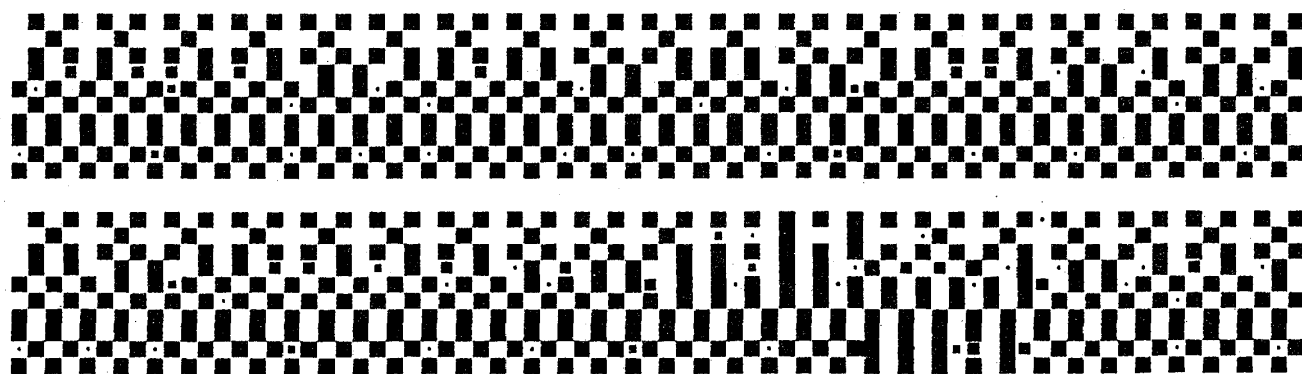
$$a_i(t) = \sum_{j=1}^m V_{ij} A_j(t) + \theta_i (k^r - 1) \quad (4)$$

(2)~(4)式は、神経の持つ空間的加算、時間的加算、連続的しきい値作用及び不

応性をすべて併せ持つニューロンモデルとなっている。

次に、我々はニューロン間の結合がランダムな状態でのネットワークとしてのカオス応答について検討した。シミュレーションでは、簡単のため、 $a_i(t) - \theta_i = a_i$ (時間に無関係に一定)、 $\alpha = 1$ と置き、関数 f はロジスティック関数 $f(y) = 1 / \{1 + \exp(-y/\varepsilon)\}$ 、関数 h 及び関数 g は恒等関数 $h(x) = x$, $g(x) = x$ として取り扱った。

シミュレーション結果の一例を図に示す。図は時間 t を横軸にとり、縦に10個分のニューロンの出力 $x_i(t)$ の時系列パターンを正方形の大きさで表したものである。リアプノフスペクトルを同時に示す。図の場合では、 $\lambda_0 > \lambda_1 > 0$ より、個々のニューロンでは、ほぼ周期応答をしているものもあるが、ネットワークレベルでは、カオス応答を生じていることが示されている。



$\lambda_0 =$	2.69322e-001	$\lambda_5 =$	-2.46599e-001
$\lambda_1 =$	4.20452e-002	$\lambda_6 =$	-2.64192e-001
$\lambda_2 =$	-7.89741e-002	$\lambda_7 =$	-3.22626e-001
$\lambda_3 =$	-1.96394e-001	$\lambda_8 =$	-4.07109e-001
$\lambda_4 =$	-2.40227e-001	$\lambda_9 =$	-5.36104e-001

図. カオスニューラルネットワークの時系列パターンとリアプノフスペクトル ($W_{ij} = [-0.1 \sim 0.1]$ の一様乱数, $k = 0.78$, $\varepsilon = 0.02$, $a_i = 0.5$ for all neuron.)

参考文献

- 1) K. Aihara and G. Mastumoto : in "Chaos in Biological Systems" (eds. Degn, Hoiden & Olsen), 121, Plenum Press, N.Y. (1987)
- 2) E.R. Caianiello : "Outline of a Theory of Thought-Processes and Thinking Machines", J.Theor. Biol., 2 (1961)
- 3) J. Nagumo and S. Sato : "On a Response Characteristic of a Mathematical Neuron Model", Kybernetik, 10 (1988)